

струкций позволяет экономить сталь на фермы до 40%, на балки – до 20%, на колонны – 50÷70%. Однако при этом стоимость возведения железобетонных конструкций выше, чем стальных: ферм до 40%, подкрановых балок до 55%, колонн до 35% [6].

1.Альперина О.Н. Исследование сжатых железобетонных элементов с поперечным армированием: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – 2005. – 24 с.

2.Васильев А.П., Голосов В.Н. Состояние и перспективы развития конструкций с внешним армированием // Бетон и железобетон. – 2007. – № 9. – С.28-29.

3.Воронков Р.В. О внешнем листовом армировании // Промышленное строительство. – 2006. – № 5. – С.19-20.

4.Марков Б.П. Исследование условий совместной работы железобетонной плиты с металлическими сплошными балками. – М.: Наука, 2005. – 180 с.

5.Smith F., Brown R. The Shearing Strength of Concrete, Bull. Univ. of Washington, N 106, 2001, p. 205.

6.Garner N.I. Use of Spiral Welded Steel Tubes in Pipe Columns. ACJ. J. Proceedings, vol. 65, Nov. 2003, p. 937-942.

7.Переяславцев Н.А. Брусковые конструкции с внешним армированием, уголками – М.: Наука, 2004. – 276 с.

*Получено 03.03.2011*

УДК 690 : 620.1

А.Н.ШАПОВАЛОВ, канд. техн. наук

*Харьковская национальная академия городского хозяйства*

Ф.В.КИРИЦЕВ

*ЮжгипроНИИавиапром, г.Харьков*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО ПЕРЕКРЫТИЯ, ПОДВЕРЖЕННОГО ЛОКАЛЬНОМУ ОГНЕВОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ**

Приведены результаты испытаний бетона и арматуры, получивших повышенные температурные воздействия от пожара, предложены рекомендации по усилению поврежденного железобетонного перекрытия.

Наведено результати випробувань бетону та арматури, які одержали підвищений температурний вплив внаслідок пожежі, запропоновано рекомендації щодо підсилення пошкодженого залізобетонного перекрытия.

Results of tests of concrete and reinforcement have received increased temperature effects from the fire, offered recommendations to strengthen a damaged reinforced concrete slab.

*Ключевые слова:* воздействие пожара, бетон, арматура, усиление поврежденного перекрытия.

Существующая практика оценки физико-механических характеристик железобетонных конструкций, испытанных на себе воздействие пожара, базируется, как правило, на обширных экспериментальных исследованиях, проведенных в лабораторных условиях или в спе-

циальных термокамерах, имитирующих пожары. При этом задаются определенные температурные режимы ( $t = 100, 200, 400, 500, 600$  °C и более). Время воздействия такого режима фиксируется четкими границами (0,5 ч, 1 ч, 1,5 ч и т.д.) [1, 2, 4]. На основании этих данных разрабатываются конкретные рекомендации по огнестойкости железобетонных конструкций [3, 5].

В реальных условиях возникновения и развития пожара нет четких границ как по температуре воздействия, так и по продолжительности огневого воздействия. Поэтому накопление конкретных материалов по прочностным и деформативным характеристикам железобетонных конструкций, испытывавшим определенные температурные воздействия, является очень важным и ответственным материалом для принятия инженерных решений по реконструкции или усилению поврежденного перекрытия.

В январе 2011 г. в подвальной части строящегося культурно-коммерческого комплекса в г.Харькове произошел локальный пожар от короткого замыкания временной электропроводки. Здание данного комплекса представляет собой в конструктивном отношении монолитный безригельный каркас с железобетонными плитами перекрытия толщиной 220 мм. Ячейка колонн составляет 8,5х8,5 м. Над круглыми колоннами диаметром 800 мм устроены капители размером 2,6х2,6 м.

Помещение, где произошел пожар, представляет собой временный складской отсек в виде треугольного в плане блока общей площадью 38,7 м<sup>2</sup> высотой 2,2 м. Размеры катетов этого треугольника, близкого к прямоугольному, равны около 8,7 и 8,9 м. В качестве горючих материалов были различные элементы строительного и бытового назначения (дерево, пластмасса, картон, полимерные изделия и др.). Температура внутри горевшего склада не превышала 500-600 °C. Нарастание температурного фона было постепенным без резких перепадов и отклонений, однако места интенсивности огневого воздействия были неоднозначны – в одних зонах потолка температура была наибольшей, в других она была существенно меньшей. Продолжительность огневого воздействия находилась в пределах 1 ч 10 мин. – 1 ч 20 мин. (по данным протокола инспектора по пожарному надзору). Интенсивному воздействию огня подверглись: в первую очередь монолитная железобетонная плита перекрытия над складом, верхние участки капителей колонн, стены склада (одна железобетонная несущая, вторая ограждающая из газобетонных блоков) и две колонны.

Детальному анализу и обследованию подлежали те элементы склада, которые представляют собой ответственные несущие конструкции и которые оказались наиболее поврежденными вследствие

прямого огневого воздействия. К числу таких элементов относится монолитная железобетонная плита перекрытия, остальные элементы получили меньшие повреждения.

1. *Основные дефекты плиты перекрытия, подверженной огнево-му воздействию.* Так как самая высокая температура концентрировалась в области плиты перекрытия над складом, то вполне логично, что именно нижняя зона плиты и получила наибольшие повреждения и подлежала детальному исследованию. Проектный класс бетона был принят В25.

Вследствие продолжительного высокотемпературного воздействия произошло объемное расширение нижней зоны бетона, его разрушение и отслоение. Практически разрушился защитный слой бетона вплоть до арматуры и даже пошел глубже. Общая глубина отслоения достигала 60 мм. При этом следует отметить, что отслоение по глубине произошло неравномерно. В зоне расположения арматуры Ø10 мм класса А400С (А500С) бетон меньше отслоился, в зонах, свободных от армирования, глубина отслоения оказалась большей.

Общий вид перекрытия, подверженного воздействию пожара, показан на рис.1. Произошло оголение арматуры на большой площади плиты перекрытия. Ячейка армирования составляла 200х200 мм. При этом поперечная арматура, которая на данном участке плиты является в большей части рабочей, оголилась больше, чем продольная арматура, а следовательно, и прочностные характеристики всей плиты значительно снизились.

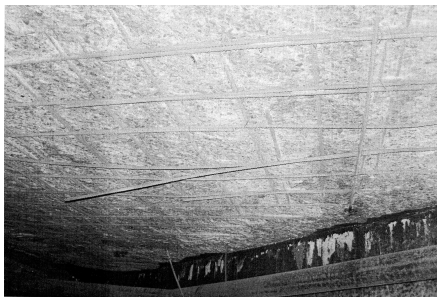


Рис.1 – Общий вид железобетонного перекрытия, подверженного воздействию пожара

Вследствие огневого воздействия арматура плиты в нижней зоне получила значительные температурные деформации и частично даже отслоилась от бетона и провисла. Воздействие высокой температуры привело к деструктивным изменениям в кристаллической решетке арматуры и снижению ее прочностных характеристик. И, что очень важ-

но, нарушилась совместность работы бетона и арматуры, утратили свое значение силы сцепления, произошли необратимые температурные деформации рабочей арматуры. Вся масса железобетонной плиты перекрытия удерживалась на нижней продольной арматуре и на неповрежденной верхней сетке железобетонной плиты.

Необходимо было детально определить реальные прочностные характеристики как бетона плиты (в нижней и верхней зонах), так и прочностные характеристики арматуры, подверженной воздействию высокой температуры.

*2. Исследование прочностных характеристик бетона и арматуры.* С целью определения наиболее достоверных данных о прочностных характеристиках бетона плиты перекрытия необходимо было проанализировать прочность бетона со стороны воздействия огневого потока, а также со стороны верхней поверхности плиты. Для решения этой задачи были использованы два неразрушающих метода исследований: первый заключался в использовании ударно-механического способа (склерометр Шмидта), второй предусматривал использование ультразвукового прибора УИС-17, представляющего собой генерирующий электроблок с фиксацией времени прохождения ультразвука в микросекундах через заданную базу бетона. В качестве базы бетона использовалось расстояние 400 мм. Прочность бетона определялась по формуле Жуленева, где  $R$  в  $\text{кг/см}^2$ ,

$$R = C \cdot V^{3,73}, \quad (1)$$

$C$  – параметр, учитывающий влажность поверхности,  $C = 1,6 \div 1,8$ ;  $V$  – скорость прохождения ультразвука в исследуемой толще бетона.

Результаты полученных отсчетов по склерометру Шмидта подвергались статистической обработке с числом стандартов  $\chi=1,64$ ; коэффициент вариации принимался по экспериментальным данным. В табл.1 приведены результаты испытаний бетона перекрытия и стены неразрушающим методом при помощи склерометра. При этом введены переходные коэффициенты для низких отсчетов  $K_n=0,67$  и для высоких отсчетов  $K_n=0,9$  на основании тарировочной кривой склерометра.

Результаты испытаний имеют незначительный разброс в показателях прибора, что свидетельствует о надежности полученных результатов. В нижней зоне прочность бетона близка к марке М260, класс В20, в верхней зоне к классу В25 (т.е. к проектной прочности).

В табл.2 приведены результаты ультразвукового исследования прочности бетона на верхней поверхности плиты. Как видно из этих

результатов, прочность бетона колеблется в пределах от 254,8 до 281,58 кг/см<sup>2</sup>. Такой разброс объясняется неоднородностью структуры бетона по поверхности и наличием армирования плиты в верхней зоне. Если отбросить крайние значения показаний прибора, тогда прочность бетона будет находиться в пределах 265÷298 кг/см<sup>2</sup>, что близко подходит к значениям прочности бетона, полученной с помощью склерометра.

Таблица 1 – Определение средней прочности бетона и его класса

Зоны контроля	Кол-во отсчетов	Величины отсчетов $\alpha$	$\Sigma\alpha$	$\bar{\alpha}$	Средняя прочность бетона $\bar{R}$ (кг/см <sup>2</sup> )	Коэффициент вариации $v$	Класс бетона В в МПа
Нижняя зона плиты	10	29, 30, 31, 30, 28, 27, 27, 26, 28, 29	285	23.5	256.5	0.121	20.5
Верхняя зона плиты	11	31, 32, 33, 32, 33, 30, 30, 34, 32, 33, 32	352	32	288	0.101	24.0
Диагональная вертикальная стенка	12	30, 29, 31, 34, 34, 35, 29, 32, 34, 31, 31, 33	383	31.9	287.2	0.114	23.3

Таблица 2 – Определение прочности бетона с помощью ультразвукового прибора УИС-17

Места определения	Количество замеров	Величины отсчетов $\beta$	$\Sigma\beta$	$\bar{\beta}$	Средняя прочность бетона $R$ (кгс/см <sup>2</sup> )	Поправочный коэффициент $K$	Прочность бетона $R$ (кгс/см <sup>2</sup> )
Вдоль оси «б»	12	190, 207, 204.8, 206.6, 198.6, 199.2, 200.8, 198.1, 200.8, 201.5, 196.9, 200.2	2398.5	199.87	296.4	0.95	281.58
Вдоль оси «7»	12	194.2, 208.5, 209.1, 210.3, 208.0, 208.4, 211.2, 209.5, 209.6, 208.9, 210.2, 207.7	2495.6	207.97	268.3	0.95	254.88

На основании полученных данных по испытанию бетона можно сделать вывод о том, что влияние огневого потока при его температуре 500 °С только частично разрушает бетон на глубину защитного слоя

бетона, а затем влияние огня существенно уменьшается по высоте сечения плиты и на ее поверхности прочность бетона практически не меняется.

Для оценки прочностных характеристик арматуры плиты перекрытия, подверженной огневому воздействию, были вырезаны непосредственно из нижней сетки четыре образца длиной 400-500 мм диаметром 10 мм. Проектный класс арматуры был А400С. Наряду с поврежденной арматурой были заготовлены аналогичные стержни, но не подверженные огневому воздействию. Эти образцы испытывались на растяжение в лабораторных условиях на разрывной машине ИР-1000. В табл.3 приведены результаты этих испытаний как по прочностным показателям, так и по деформативным.

Таблица 3 – Результаты испытания арматуры

ОБРАЗЦЫ, ПОДВЕРЖЕННЫЕ ОГНЕВОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ											
№ п/п	начальная длина	масса т, гр.	рабочая площадь А, см <sup>2</sup>	расчетная длина, см		нагрузка, кН		прочность материала		пластичность материала	
				до разрыва l <sub>н</sub>	после разрыва l <sub>к</sub>	при текучести R <sub>т</sub>	при разрушении R <sub>р</sub>	предел текучести σ <sub>т</sub> , МПа	предел прочности σ <sub>в</sub> , МПа	остаточное удлинение Δl, см	относительное удлинение ε, %
1	38.3	237	0.788	15.0	17.3	358	436	454.3	553.3	2.3	15.3
2	48.4	304	0.8	15.0	17.7	430	512	537.5	640.0	2.7	18.0
3	47.5	292	0.783	15.0	17.8	384	422	490.4	538.9	2.8	18.6
4	44.1	275	0.794	15.0	18.0	408	465	513.8	585.6	4.0	20.0
								σ <sub>ср.</sub> =499	σ <sub>ср.</sub> =579		
ОБЫЧНЫЕ ОБРАЗЦЫ											
1	50.2	314	0.797	15.0	16.9	490	556	614.8	771.4	1.9	12.6
2	50.2	307	0.779	15.0	17.0	486	558	623.8	716.3	2.0	13.3
3	50.5	320	0.785	15.0	16.9	492	560	626.7	769.5	1.8	12.0
								σ <sub>ср.</sub> =622	σ <sub>ср.</sub> =752		

Как видно из результатов испытаний, прочностные характеристики арматуры, подверженной огневому воздействию, снизились как по параметру предела текучести, так и по временному сопротивлению. Если в образцах арматуры, не подверженной пожару, средний предел текучести составил 622 МПа, то в образцах, вырезанных из арматурной сетки, подверженной огневому воздействию, эта величина составила только 499 МПа (снижение прочности равно 19,7%). Увеличилась и деформативность поврежденной арматуры на 35-40%. То есть прочностные и деформативные характеристики арматуры существенно изменились и использовать ее в качестве основной рабочей арматуры после пожара уже нельзя.

Потребовался поверочный статический расчет плиты с определением ее несущей способности до возникновения пожара и с учетом имеющихся повреждений от пожара и включением элементов усиления.

3. *Статический и конструктивный расчет железобетонной плиты перекрытия.* Исходными предпосылками для выполнения данного расчета являлось то, что несущая способность перекрытия до огневого воздействия обеспечивала безопасную эксплуатацию его и здания в целом с учетом всех нагрузок, выданных технологическим заданием проектировщиков «ООО Дроздов и партнеры», и действующими нагрузками в соответствии с ДБН В.1.2-2:2006 «Нагрузки и воздействия». При этом толщина плиты принималась 220 мм.

В результате огневого воздействия нижний слой плиты был разрушен на глубину 40-60 мм. Поэтому во втором варианте расчета (с учетом возникших дефектов от пожара) толщина плиты была принята 160 мм, а нижняя зона армирования усилена полосовой сталью с ячейкой 600х600 мм. Класс бетона принят В20.

Расчет для двух вариантов выполнялся с использованием стандартного вычислительного комплекса ПК «SCAD» по версии 11.3. На рис.2 приведена принципиальная расчетная модель всей плиты перекрытия технического этажа, включая всю протяженность этого перекрытия от оси «5» до оси «9». Зона расположения огневого воздействия находится между осями «6» и «7» и выделена в форме треугольника.

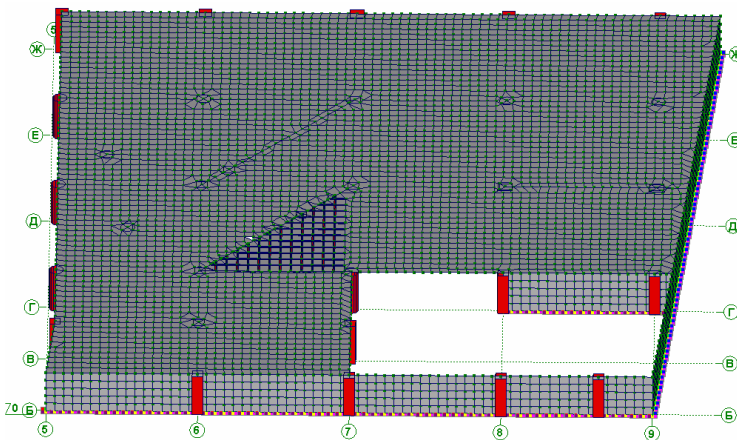


Рис.2 – Расчетная модель перекрытия с включением треугольной зоны, поврежденной пожаром

На основани виконаних розрахунків отримані значення внутрішніх зусиль  $M_x$  і  $M_y$  в двох напрямленнях з урахування двох варіантів роботи плити (до вогневого впливу і після нього), а також рекомендовані вичислювальною програмою схеми армування. На рис.3 приведені ізополі вигинаючих моментів  $M_x$  в поперечному напрямленні (найбільш відповідальному) для випадку без вогневого впливу і на рис.4 – ті ж ізополі для  $M_x$ , але з урахування зменшеної товщини плити, зниженого класу бетону і з введенням елементів полосового зусилля.

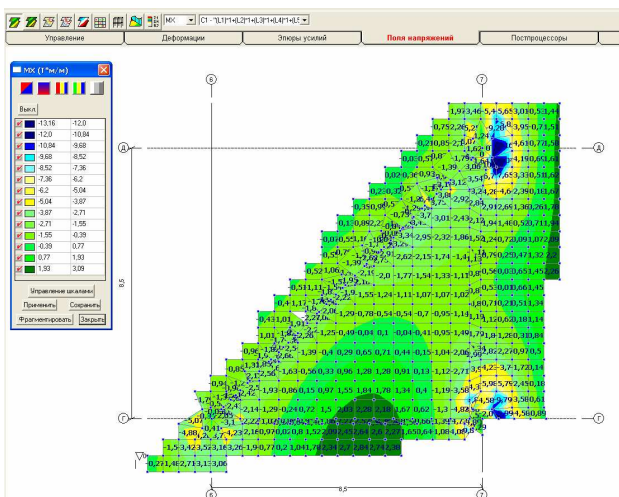


Рис.3 – Ізополі вигинаючих моментів  $M_x$  в плиті перекриття до вогневого впливу



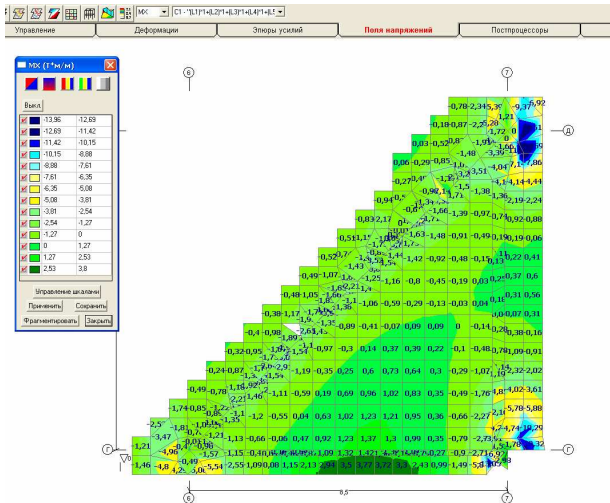


Рис.4 – Изополя изгибающих моментов  $M_x$  в плите перекрытия после огневого воздействия

Выполненные расчеты показали, что изгибающие моменты во втором варианте увеличились в зоне наибольших значений от 2,84 до 3,7 т.м. на 1 погонный метр. Однако армирование нижней зоны составляет только Ø10 мм с ячейкой 200x200 мм, так как при пониженной толщине плиты в 160 мм ее прочностные характеристики по бетону сохранились достаточно высокие (класс В20), к тому же уменьшился собственный вес плиты на 27%. Поэтому введение дополнительного перекрестного полосового армирования из полосы 6x60 мм с ячейкой 600x600 мм оказалось вполне достаточным, чтобы обеспечить исходные прочностные параметры плиты перекрытия с заданными первоначальными нагрузками (рис.5).

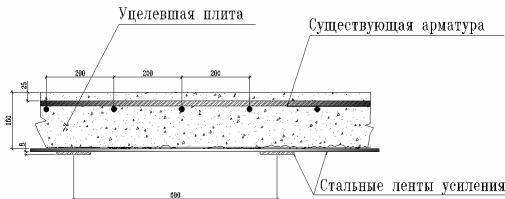


Рис.5 – Принципиальная схема усиления поврежденного перекрытия

4. *Возможные инженерные конструктивные решения по восстановлению перекрытия, подверженного огневому воздействию. При*

рассмотрении конкретных комплексных воздействий огневого потока на железобетонные конструкции следует учитывать целый ряд факторов, определяющих принятие тех или иных конструктивных решений по усилению и восстановлению прочностных и деформативных параметров конструкций. Не следует игнорировать остаточные прочностные параметры бетона и арматуры, которые в большинстве случаев остаются при локальных или общих пожарах достаточно высокими. Особую важность в этом случае приобретает статический расчет конструкций с учетом всех обстоятельств последствий пожара.

В рассматриваемом выше конкретном случае степень повреждения оказалась незначительной для бетона и более существенной для арматуры. Железобетонное перекрытие утратило свои первоначальные прочностные и деформативные характеристики. В данной аварийной ситуации возможны следующие мероприятия по устранению возникших дефектов: устройство поддерживающей металлической балочной клетки с опиранием ее на дополнительные колонны; радикальное решение, заключающееся в демонтаже (вырубке) поврежденного участка перекрытия и замене его на новое; использование современных углепластиковых волокон в нижней зоне плиты вместо поврежденной арматуры и, наконец, локальное усиление плиты нижней перекрестной полосовой сеткой с подвеской ее на болтах к существующей плите и сохранением существующего поврежденного армирования. Из всех перечисленных методов, каждый из которых обладает определенными недостатками (расход металла, трудоемкость, стоимость, надежность), наиболее рациональным оказался последний по экономической эффективности и надежности эксплуатации (рис.5). После устройства такого усиления рекомендуется закрепить снизу распределительную арматурную сетку и покрыть ее торкретбетоном толщиной 30-40 мм.

Таким образом, исследование поврежденного огнем воздействием железобетонного перекрытия толщиной 220 мм на протяжении 1 ч 20 мин. показало, что бетон от температурного воздействия разрушился на глубину 40-60 мм со стороны огневого потока, остальной массив бетона величиной 160 мм сохранил свои прочностные характеристики.

Арматурная сетка нижней зоны плиты более подверглась структурному изменению с потерей прочностных параметров на 19,7%, а деформативных – на 40%. То есть рассматривать арматуру нижней сетки в качестве рабочей уже невозможно, так как она не только утратила свои исходные физико-механические характеристики стали класса А400С, но и полностью потеряла сцепление с бетоном. Весь локальный участок перекрытия, подверженный огневому воздействию,

перешел в разряд аварийного и эксплуатироваться без усиления и восстановления не может.

Выполненный статический расчет смоделированного поврежденного перекрытия с учетом остаточных прочностных параметров бетона показал, что исследуемый участок может быть восстановлен путем подвески к существующему поврежденному перекрытию перекрестной полосовой сетки с ячейкой 600х600 мм, при этом площадь сечения полосы на 1 пог. метр должна соответствовать исходной площади арматуры проектной сетки. После подвески на болтах полосовой сетки вся площадь перекрытия покрывается слоем мелкозернистого торкрет-бетона толщиной 30-40 мм. Существующие другие варианты реконструкции перекрытия оказались менее эффективными.

1.Ильин Н.А. Техническая экспертиза зданий, подверженных пожарам. – М.: Стройиздат, 1983. – 197 с.

2.Милованов А.Ф. Огнестойкость железобетонных конструкций. – М.: Стройиздат, 1986. – 223 с.

3.Чернявский В.Л. Руководство по усилению железобетонных конструкций композитными материалами [Текст] / В.Л.Чернявский, Ю.Г.Хаютин, Е.З.Аксельрод, В.А.Клевцов, Н.В.Фаткуллин. – М.: ООО «ИнтерАква», 2006. – 113 с.

4.Яковлев А.И. Основные принципы расчета пределов огнестойкости строительных конструкций // Огнестойкость строительных конструкций. – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1982. – С.3-14.

5.ДБН В.1.7-2002. Защита от пожара, пожарная безопасность объектов строительства / Госкомитет Украины по строительству и архитектуре. – К., 2003. – 81 с.

*Получено 21.04.2011*

УДК 631.22 : 721.011.12 : 721.021

С.В.НЕСТЕРЕНКО, канд. техн. наук

*Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка*

## **ОСНОВИ МОДЕЛЮВАННЯ КООПЕРОВАНОЇ І БЛОКОВАНОЇ БУДІВЛІ ЗА ДОПОМОГОЮ КОМП'ЮТЕРНОЇ ТЕХНІКИ**

Викладено методику об'ємно-планувальної організації і функціонально-технологічної структури на прикладі кооперованої тваринницької будівлі, теоретично обґрунтовано можливість формування моделі об'єкта на основі головних критеріїв оптимізації.

Изложена методика объёмно-планировочной организации и функционально-технологической структуры на примере кооперированного животноводческого здания, теоретически обоснована возможность формирования модели объекта на основании главных критериев оптимизации.

Have been proposed the method of volume planning organization and functional-technological structure of cattle-breeding cooperative buildings, theoretically has founded the possibility forming of objects model, based on main optimization criterions.